

加筋土挡墙土压力及土压力系数分布规律研究

Study on the distributive rule of the earth pressure and its coefficient of the reinforced earth wall

高江平^{1,2}, 俞茂宏¹, 胡长顺², 陈忠达²

(1. 西安交通大学 建筑力学学院, 陕西 西安 710049; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 通过对加筋土挡墙大型模型试验土压力测试分析, 提出加筋土挡墙的土压力系数应区分为填土自重土压力系数和超载土压力系数。自重土压力系数在墙顶为主动土压力系数, 至墙底为静止土压力系数, 其间按直线规律变化; 超载土压力系数随超载的大小而变化, 按从小到大的顺序分别取值 K_a , $2K_a$, $2.5K_a$ 和 $3K_a$, 它们沿墙高均近似取为常数。土压力系数与土压力数值大小的变化规律相一致。

关键词: 加筋土挡墙; 土压力; 土压力系数

中图分类号: TU 432

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)05-0582-03

作者简介: 高江平(1964-), 男, 西安交通大学在站博士后, 副教授, 主要从事固体力学和特殊地区筑路技术的教学和科研工作。

GAO Jiang-ping^{1,2}, YU Mao-hong¹, HU Chang-shun², CHEN Zhong-da²

(1. College of Architecture and Mechanics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. College of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: By analyzing the earth pressure of the large model test of the reinforced wall, the coefficient of earth pressure can be classified as the coefficient of pressure induced by self-weight and the coefficient of pressure induced by surcharge. The former varies linearly between coefficient of active earth pressure at the top and coefficient of earth pressure at rest at the bottom of wall, and the latter varies with the superimposed load. The coefficient of earth pressure changes accordantly with the value of the earth pressure.

Key words: reinforced earth wall; earth pressure; earth pressure coefficient

0 引言

挡土墙形式不同, 作用在其上的土压力大小和分布也不同, 库仑土压力理论和朗肯土压力理论主要适用于刚性挡土墙, 柔性挡土墙由于受到墙体本身变形的影响, 土压力及其分布与刚性挡土墙有很大区别。土压力系数的取值直接影响到拉筋拉力的大小和加筋体的稳定性。目前, 对加筋土挡土墙土压力系数的确定有两种观点: 一种观点认为土压力系数为主动土压力系数; 另一种观点则认为土压力系数在墙顶处为静止土压力系数, 向下按直线规律减小到6m处的主动土压力系数而保持不变直至墙底^[1,2]。笔者经过理论分析及试验测试论证, 认为以上两种观点都不符合加筋土挡墙的实际受力状态, 并提出确定加筋土挡土墙土压力系数的新方法。

1 土压力测试方案

1.1 模型墙的砌筑

试验所做加筋土挡土墙模型的尺寸为长160 cm、宽130 cm、高120 cm, 所用加筋为宽13 mm、厚1 mm的铝合金带, 沿墙高共布设13层加筋带, 其长度分3种规格, 自上而下分别为146, 109和89 cm。回填土为甘肃定西黄土, 其重型击实标准的最大干容重 $\gamma_{dmax} =$

18.62 kN/m³, 最优含水率 $w_{op} = 13.2\%$ 。保持回填土的最优含水率, 从下至上, 对应于墙高0~90 cm、90~104 cm和104~120 cm范围内, 依次按90%、93%、95%的压实度控制击实, 每分层的击实厚度约3 cm。

1.2 墙背附加土压力测试方案

使用日本进口的高精度微型土压力盒测定墙面板后加筋体内各测点的竖向与侧向土压力, 测试断面位于墙面宽度的中间断面, 沿墙高布设了5个测点, 见图1。

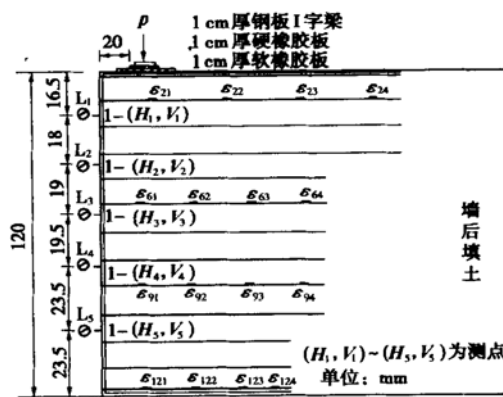


图1 条带式加筋挡墙测点布置图

Fig. 1 Layout of measuring points of reinforced earth wall

1.3 土压力测试

试验加载从零开始, 按9.8 kN的间隔逐级增加直

至破坏,此时荷载为 236.77 kN,为所能施加的最大荷载。各级荷载作用下土压力的测试结果见图 2 和图 3。

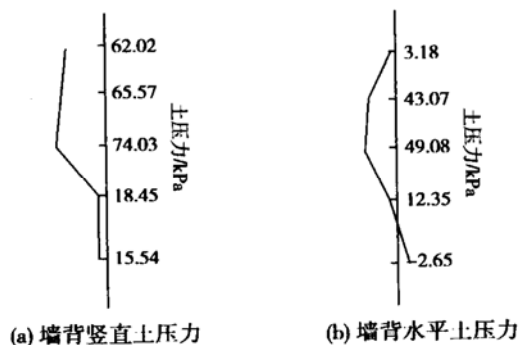


图 2 条带式加筋土模型墙背土压力分布图($P = 58.60$ kN)

Fig. 2 Distribution of earth pressure of reinforced earth wall

2 土压力测试结果分析

2.1 条带式加筋土挡墙墙背土压力分布

以 $P = 58.60$ kN 时模型墙背的土压力分布图(见图 2)为例,来说明其分布的规律性。由图 2 可见,墙背竖直和水平土压应力的分布形式基本相似,即呈上部较小、中上部大、下部又变小的规律,它与均布条形荷载作用时土基中任一竖直面土上竖向应力的分布曲线形式相类似,其余荷载时亦有此分布规律,见图 3。

2.2 超载土压力系数分布

实测结果表明,超载土压力系数沿墙背的分布规律与土体中附加应力的分布规律相一致,填土中凡附加压力大的地方,与其相应的侧向土压力及土压力系数亦大,且迫使墙向外发生的位移也大,这时填土的应力状态既非主动土压力状态,亦远未达到被动土压力状态,而是类似土的超固结状态,此时的土压力系数随超载的增大而由小向大变化,由接近于主动土压力系数变化至达到和超过静止土压力系数,在图 4(d) 阶段,当加载至地基承载力的比例极限 $P_{pr} = 126.42$ kN 以后,从墙顶向下第二测点的土压力系数稍大于 1.0,说明在一般情况下,超载土压力系数均小于 1.0。出于简化计算和结构安全考虑,现按实测数据计算的土

压力系数并结合加筋体承载力的大小,得出土压力系数随上覆荷载的大小而变化的规律如图 4 所示。

(1) 当超载压应力 $P \leq 184.24$ kPa $\approx [R]/5$ 时(加筋体的容许承载力 $[R] = 913.36$ kPa,其相应的荷载 $[P] = 146.12$ kN,下同),土压力系数的分布图式为图 4(a)。此时 $P = [P]/5 = 29.50$ kN,故 $p = P/BL' = 184.24$ kPa,此值相当于约 10 m 高土柱压力。

(2) 超载土压力系数分布图的适用性

图 4 中,(a)~(d) 分别适用于单级墙高 0~10 m、10~20 m、20~30 m 和 30~50 m 情况,故实际工程中,多数应用(a)和(b)两种图式。

图 4 是按超载的大小,将土压力系数的变化按从小到大的顺序划分为(a)~(d) 4 种情况。因加筋体中的应力状态随超载的增大而不断变化,表现在土压力系数上也呈现出阶段性。超载位置(离墙面板的距离)及荷载分布形式(条形式或满铺式均布荷载)的不同,最终表现在土压力数值的大小上。图 4 反映了不同土压应力水平时墙背土压力系数的变化规律。按土力学理论,在超载作用下土体中的附加应力沿垂直及水平方向的分布规律基本相似,故其结论可普遍适用^[3,4]。

2.3 加筋土挡墙自重土压力系数分布

(1) 现行土压力系数分布及其存在问题

文献[1]中第 5.2.1 条规定加筋体土压力系数的分布如图 5(a) 所示,即墙顶为静止土压力系数 K_0 ,向下按线性规律减小,至墙深 6 m 处为主动土压力系数 K_a ,其下保持为常数。该图式是根据几个国家共 7 处试验数据归纳而得^[1]。以所给出的图形来看,各处数据差异很大且并非图 5(a) 的规律,姑且认为其成立,那么存在这样的质疑:①若墙高小于 6 m,土压力系数如何确定?②填土自重及超载土压力系数是否都符合这个规律?

现着重分析问题②。因为加筋土挡土墙为柔性挡土墙,随着加筋墙砌筑高度的增加,引起墙面位移的土压力与拉筋的抗拔阻力处于动态平衡中。作用于柔性墙面板上的土压力既不是素填土中的朗肯(或库仑)主动土压力,也不是完全的静止土压力,故沿墙背土压力

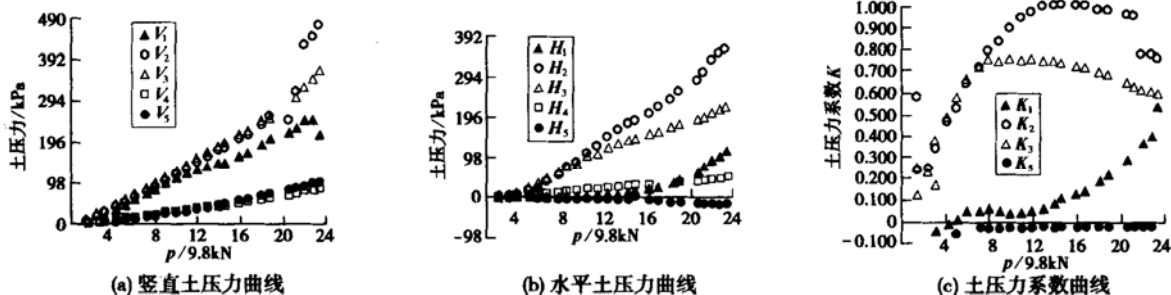


图 3 条带式加筋土挡墙荷载试验结果

Fig. 3 Test results on reinforced earth wall

系数的分布形式主要取决于荷载的作用方式(仅填土自重或还有表面超载)及其大小和产生墙面位移的原因。对加筋土挡墙,当地基的承载力足够时,在填土自重及超载作用下,柔性墙面位移沿墙高呈上大下小的分布规律,这已为本试验观测所证实,即墙顶向外的位移量最大,向下逐渐减小,至墙底减至最小。位移对土压力和土压力系数的影响难以定量表达,自重土压力系数的分布与自重土压应力状态相一致,即土压力小的上部,土压力系数也小,对应的墙面位移大,土压力大的下部,土压力系数也大,墙面位移小。

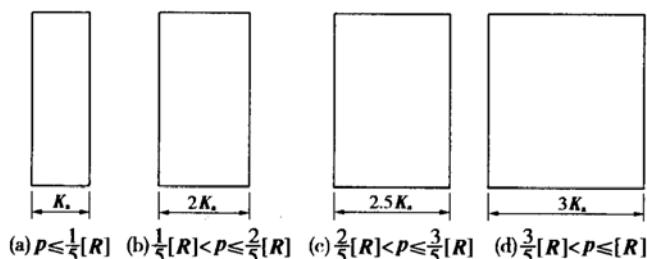


图4 超载土压力系数分布图

Fig. 4 Distribution of coefficient of earth pressure induced by surcharge

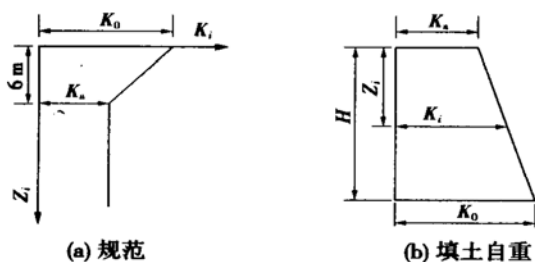


图5 土压力系数分布

Fig. 5 Distribution of earth pressure coefficient

(2) 自重土压力系数分布

根据以上对填土自重作用下土体的应力状态和墙面位移的分析,可认为加筋土挡墙自重土压力系数按图 5(b) 分布比较合理,即墙顶为主动土压力系数,至墙底为静止土压力系数,其间接直线规律变化。

墙背任一深度 Z_i 处的自重土压力系数 K_i 为

$$K_i = K_a + \frac{K_0 - K_a}{H} Z_i \quad (0 \leq Z_i \leq H) \quad (1)$$

2.4 土压力系数分布形式的讨论

由以上分析可知,影响土压力系数大小和分布规律的最直接原因是土压力的大小和分布形式,二者之间体现出一致性的规律。故将土压力系数区分为填土自重土压力系数和超载土压力系数,并按土力学原理及模型试验的实测结果进行分析,给出了二者沿墙高的分布规律,现就该问题进行讨论。

(1) 自重土压力系数分布形式的合理性

在图 5(b) 中,墙背任一深度 Z_i 处的自重土压应力

$$\Delta E_{ai} = k_i \gamma Z_i \quad (2)$$

Z_i 范围内墙背所受的总土压力为

$$\begin{aligned} E_{ai} &= \int_0^{Z_i} \left[K_a + \frac{K_0 - K_a}{H} Z_i \right] \gamma Z_i dz_i \\ &= \frac{1}{2} K_a \gamma Z_i^2 + \frac{1}{3} \frac{K_0 - K_a}{H} \gamma Z_i^3 \end{aligned} \quad (3)$$

当 $Z_i = H$ 时,即为整个墙高的总土压力:

$$E_a = \gamma H^2 K_a / 6 + \gamma H^2 K_0 / 3 \quad (4)$$

式(4)表明,按图 5(b) 所计算的土压力数值比库伦土压力大 $2(K_0/K_a - 1)/3$ 倍。

对本研究来讲, $K_a = 0.33$, $K_0 = 0.50$, $\Delta E_a = 0.34 E_{a1}$, 即 $\Delta E_a / E_{a1} = 0.34$, 加筋土挡墙墙背所受到的自重土压力是库伦主动土压力的 1.34 倍。对高墙来讲,若忽视这一问题,显然是非常危险的。

(2) 超载土压力系数分布形式的合理性

若对相同超载分别应用图 5(a) 与图 4(a) 的土压力系数计算土压力,在墙背上部,前者的土压力会比后者大,而下部二者大小相同;同样,若采用图 5(a) 与 4(b),对整个墙背,前者的土压力均比后者小。这说明对单级或多级高挡墙需要考虑较大的超载,若按规范的土压力系数进行设计,显然是偏于不安全,这也许是国内某加筋土高挡墙失事的原因之一。

3 结 论

(1) 在超载作用下,加筋土模型挡墙墙背土压力沿墙高呈现出上部较小、中上部大、下部又变小的分布规律,它们与条形均布荷载作用时土基中某一竖直线上竖向应力的分布曲线形式相类似。墙背土压力大的地方相应的土压力系数也大,二者的变化趋势相一致。

(2) 按加筋土挡墙的结构形式及其实际受力情况,应将填土自重土压力系数和超载土压力系数分开来考虑。自重土压力系数在墙顶为主动土压力系数,至墙底为静止土压力系数,其间接直线规律变化;超载土压力系数随超载的大小而变化,按其从小到大的顺序分别取值 K_a , $2K_a$, $2.5K_a$ 和 $3K_a$, 它们沿墙高均近似取为常数。

参考文献:

- [1] JTJ 015-9, 公路加筋土工程设计规范[S].
- [2] Virginia geotextile design & construction guidelines[R]. Washington: National Highway Institute Federal Highway Administration Mcen, 1988.
- [3] Okamura M, Takemura J, kimura T. Bearing capacity predictions of sand overlying clay based on limit equilibrium methods[J]. Soils and Foundations, 1998, 38(1): 181-194.
- [4] Kotake N, Tatsuoka F, Tanaka T, et al. An plane strain compression by FEM simulation[J]. Soils and Foundations, 1999, 39(5): 103-130.